

Ejercicios correctos y seguros para el fortalecimiento de la musculatura abdominal

Pedro Ángel López Miñarro

Universidad de Murcia

Más información en:

http://ocw.um.es/cc.-sociales/actividad-fisica-para-la-salud

Acceder a Material de clase, tema 5

También en http://webs.um.es/palopez

Introducción.

El desarrollo de la resistencia muscular abdominal es un objetivo importante en el ámbito del ejercicio físico, por su papel en el correcto funcionamiento del raquis lumbar, así como por sus implicaciones en la prevención y rehabilitación de patologías lumbares (Demont y cols., 1999; Andersson y cols., 1997; Andersson y T hortensson, 1998; Shields y Givens, 1997; Thomas y Lee, 2000; Juker y cols., 1998). Las personas con algia lumbar crónica tienen menor resistencia abdominal que personas sanas (Ito y cols., 1996).

Una adecuada resistencia muscular abdominal aumenta la estabilidad del raquis (O´Sullivan y cols., 1998; Warden y cols., 1999; De Looze y cols., 1999), al desencadenar un aumento de la presión intra-abdominal en el raquis dorso-lumbar (Liebenson, 1997; Sullivan, 1989; Gardner y Stokes, 1998; Fritz y cols., 1998; Cholewicki y cols., 1999a; Hodges y cols., 2001; Shields y Heiss, 1997) y traccionar de la fascia tóraco-lumbar por la acción de los músculos oblicuo interno y transverso abdominal (Bergmark, 1989; Monteiro, 1997; Tesh y cols., 1987; Sullivan, 1989; Fritz y cols., 1998; O´Sullivan y cols., 1998; Hodges y cols 2001). Es preciso dar



predominancia al trabajo de los músculos anchos del abdomen (oblicuos y transverso abdominal) (Hodges y Richardson, 1997), ya que tienen mayor capacidad estabilizadora (Cresswell y cols., 1992) que el recto abdominal, que presenta un mayor potencial como flexor del tronco (McGill, 1991), y menor capacidad para elevar la presión-intraabdominal (Essendrop y cols., 2004; Cresswell y cols., 1992). El transverso abdominal es el músculo abdominal que más aumenta la presión intra-abdominal, seguido de los oblícuos interno y externo (Cresswell y cols., 1992).

Puesto que no hay ejercicio alguno que permita desarrollar todos los flexores y extensores del tronco de forma simultánea, deben realizarse diferentes ejercicios para acondicionar todos los músculos del tronco (McGill, 1998).

No obstante, ciertos ejercicios abdominales pueden ser inadecuados para el raquis dorso-lumbar (Norris, 1993). Juker y cols. (1998) consideran que el ejercicio ideal es aquel que activa suficientemente la musculatura abdominal sin generar excesivo estrés compresivo sobre el raquis lumbar. Al seleccionar ejercicios para el acondicionamiento muscular abdominal, habría que considerar una serie de principios (López y Rodríguez, 2002):

1. Que el ejercicio desencadene una actividad eléctrica, de ligera a moderada, en la musculatura abdominal.

2. Que los flexores coxofemorales estén inhibidos en la medida de lo posible. Uno de los factores que aumenta la inestabilidad del raquis es la implicación de la musculatura flexora coxofemoral (Axler y McGill, 1997), ya que la activación del Psoas aumenta las cargas en el raquis lumbar (McGill, 2004).

3. Que los valores de compresión lumbar sean bajos o moderados, no superando los 3000 Newtons, ya que valores superiores son un factor de riesgo para muchas personas (McGill, 1995; 1998).

Un ejercicio efectivo y seguro es aquel que cumple los tres criterios citados. El incumplimiento del primer criterio, por defecto, supone su falta de efectividad. El incumplimiento del segundo y/o tercer criterio supone su falta de seguridad, y por tanto, un factor de riesgo en cuanto al fallo de los tejidos vertebrales.



Descripción de ejercicios para el fortalecimiento de la musculatura abdominal

Incoporación del tronco.

La *incorporación del tronco* (Figura 1) es un ejercicio efectivo para la musculatura abdominal, si bien desencadena una gran activación en los flexores coxofemorales, especialmente el Psoas, que aumenta si se fijan los pies (McGill 2001; Juker y cols., 1998; Cordo y cols., 2003; Guimaraes y cols., 1991; Macfarlane, 1993; Andersson y cols., 1997; Andersson y cols, 1995; 1996; Monfort (2000; McGill, 1995; Konrad y cols 2001; McGill y cols., 1996) o se flexionan las caderas a 90 grados (Andersson y cols, 1995). La mayor implicación de los flexores coxofemorales aumenta la presión intradiscal (Nachemson, 1975; 1976) y el estrés vertebral (Bogduk y cols., 1992), generando un estrés compresivo que oscila entre los 3200 y 3500 Newton (McGill, 1995; 1997; Axler y McGill, 1997; McGill, 2001; 2002). La incorporación realizada a mayor velocidad, o con giro, (Figura 2) aumenta aún más el estrés sobre el raquis lumbar (Kelsey y cols., 1984; Granata y Wilson, 2001; McGill, 1995).



Figura 1. Incorporación del tronco en superficie inclinada con pies fijados.

(Para ver la ejecución del ejercicio en formato vídeo acceder a http://tv.um.es/serial/index/id/186)



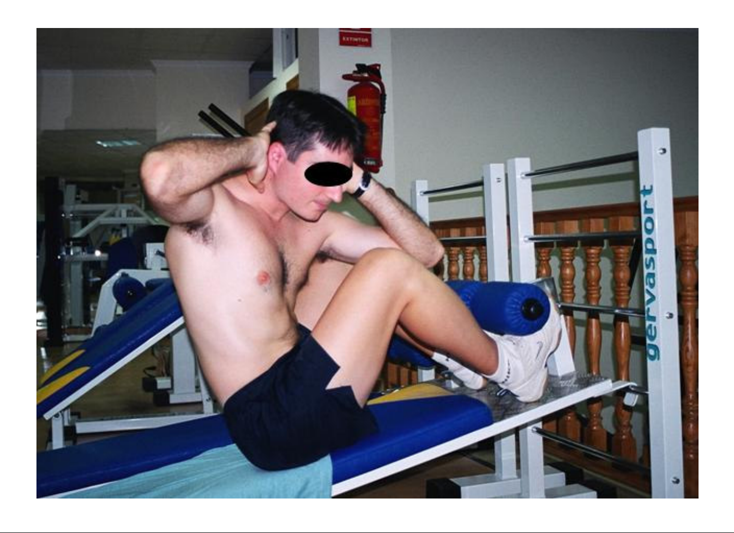


Figura 2. Incorporación del tronco con rotación vertebral al final de la fase concéntrica.

(Para ver la ejecución del ejercicio en formato vídeo acceder a http://tv.um.es/serial/index/id/186)

La posición de caderas y rodillas en este ejercicio (flexionadas o extendidas) no modifica significativamente la compresión lumbar (Santaguida y McGill, 1995; Axler y McGill, 1997), ni la cizalla (McGill, 1995), puesto que la línea de acción del Psoas no cambia por la modificación de la postura de la articulación coxofemoral (excepto a nivel de la charnela lumbosacra) (Santaguida y McGill, 1995). Si los discos intervertebrales o las estructuras adyacentes están lesionadas y se ejecuta una incorporación, la acción del Psoas puede provocar dolor (Rantanen y cols., 2000).

En la incorporación, en los primeros 30-40 grados de elevación de tronco desde decúbito supino (flexión intervertebral torácica) se observa una activación específica de los músculos abdominales. A continuación, se activan los flexores lumbares y coxofemorales, mientras la musculatura abdominal se contrae isométricamente para mantener los segmentos torácicos rígidos, produciéndose un descenso en la actividad abdominal conforme aumenta el ángulo de flexión coxofemoral (Andersson y cols., 1997; 1998; Sharpe y cols., 1998; Cordo y cols., 2003).

En ocasiones, al realizar este ejercicio, se colocan las manos entrelazadas tras la cabeza y se realiza un movimiento de impulso anterior sobre la misma, que



facilita el inicio de la elevación del tronco (Peiró, 1991; López-Miñarro, 2000; 2003). Este movimiento produce una rápida inversión de la lordosis cervical, aumentando el estrés en las estructuras osteo-articulares circundantes, y podría disminuir la activación abdominal al facilitar el comienzo de la elevación de tronco gracias a la inercia que genera la tracción sobre el raquis cervical.

Algunas salas de acondicionamiento muscular incluyen una máquina comercial de grandes dimensiones, diseñada, según la información del fabricante, para el desarrollo del recto abdominal. No obstante, el movimiento realizado en ésta supone la ejecución de una incorporación del tronco (Vera y Sarti, 1999) en sedentación, con la particularidad de que la carga aumenta los niveles de estrés vertebral. Algunas de estas máquinas incluyen la posibilidad de hacer una flexión de caderas junto a la flexión del tronco (Figura 3), lo que incide en una mayor implicación de los flexores coxofemorales, que aumenta aún más las cargas compresivas en el raquis.



Figura 3. Incorporación más flexión coxofemoral en máquina con una carga de 20 kilogramos.

En resumen, la incorporación no es una correcta opción de trabajo abdominal. Se trata de un ejercicio para trabajar los flexores coxofemorales, que implica de forma secundaria a la musculatura abdominal, y que genera un nivel de estrés que aumenta considerablemente el riesgo de fallo en los discos intervertebrales. El riesgo se magnifica aún más cuando la postura del raquis es de flexión intervertebral



tanto lumbar como torácica, lo que es muy frecuente al realizar este ejercicio (López, 2003).

Encorvamiento del tronco.

El *encorvamiento del tronco* (Figura 4) consiste en un enrollamiento de la cabeza sobre la cintura escapular y ésta sobre el esternón, en sentido cráneo-caudal, hasta que el borde inferior de la escápula se despega del suelo (Sarti y cols., 1996a y 1996b; Monfort y cols., 1997; Liemohn, 2000). Cuando se ejecuta en un plano inclinado (cabeza más alta que los pies) aumenta la intensidad del mismo. Si se realiza sobre un plano declinado, la intensidad se reduce. Es más recomendable realizar los encorvamientos sobre un plano horizontal y sin sujeción alguna de los pies.

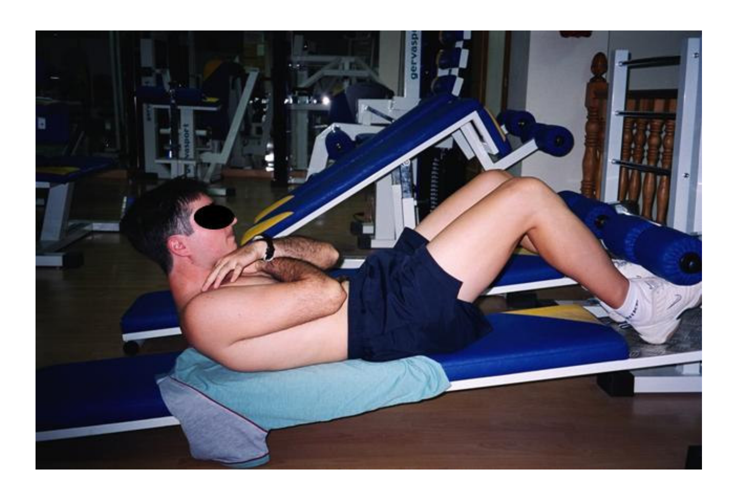


Figura 4. El encorvamiento del tronco se basa en la movilización del raquis torácico. El raquis lumbar no debe flexionarse y los pies no deben fijarse de modo alguno.

(Para ver la ejecución del ejercicio en formato vídeo acceder a http://tv.um.es/serial/index/id/186)

Es un ejercicio efectivo para la musculatura abdominal, especialmente para el recto abdominal (McGill y cols., 1996; Monfort, 2000; Andersson y cols., 1997; 1998; Juker y cols., 1998; Axler y McGill, 1997; Warden y cols, 1999; Demont y cols, 1999; Konrad y cols, 2001; Sternlicht y cols., 2005; Sternlicht y Rugg, 2003; Hildenbrand y Noble, 2004) e inhibe significativamente la actividad de los flexores coxo-femorales



(Andersson y cols. 1995; 1997; 1998; Juker y cols., 1998). Además, es un ejercicio seguro para el raquis dorso-lumbar al minimizar las fuerzas compresivas (2000-2500 N) y el estrés de cizalla (McGill, 2003; Juker y cols., 1998; McGill, 1999 y 2001; Axler y McGill, 1997; Kavcic y cols., 2004a).

Comparando el perfil electromiográfico medio del encorvamiento e incorporación, se observa la eficacia del primero por generar en el músculo una activación de distribución más normal y continua durante todo el rango de movimiento (Monfort y Sarti, 1998; Monfort y cols., 1997).

Los encorvamientos sobre superficies inestables, tales como balones de goma, incrementan la activación abdominal, posiblemente por la necesidad de estabilizar el raquis ante los pequeños desequilibrios que provoca el movimiento del balón una vez que el sujeto se dispone sobre él y realiza movimientos del tronco en el plano sagital. Este aumento en la activación muscular es especialmente destacable en el oblicuo externo (Vera y cols., 2000). El uso de plataformas inestables permite iniciar, educar y desarrollar estrategias de control motor implicadas en la estabilidad raquídea (Haynes, 2004), siendo efectivas para incrementar la estabilidad del tronco (Cosio-Lima y cols., 2003). Un error en el control motor de un músculo raquídeo importante puede ser la causa de una inestabilidad provocada por una excesiva flexión intervertebral (Kavcic y cols., 2004b).

Las molestias cervicales al realizar los encorvamientos son frecuentes en personas que inician un programa de entrenamiento abdominal. Considerando que la posición más segura del raquis cervical, en estos ejercicios, es la postura alineada (McGill, 2004) y que esto conlleva un aumento de la activación de los músculos cervicales para fijar la cabeza, el uso de máquinas con apoyo cervical, tales como el Ab Roller Plus, Ab Works y Ab Shaper (Warden y cols, 1999; Demont y cols., 1999; Whiting y cols., 1999), permiten realizar este ejercicio reduciendo la activación de los músculos cervicales, y por tanto, minimizando o haciendo desaparecer dichas molestias. No obstante, algunos de estos aparatos incorporan palancas para movilizar los miembros inferiores, lo que incide en el aumento de la activación de los flexores coxofemorales (Whiting y cols., 1999), aumentando las presiones sobre el raquis lumbar. De todos modos, el uso de aparatos o máquinas comerciales para el acondicionamiento abdominal está sujeto a su efectividad y seguridad.



En los últimos años han proliferando un gran número de máquinas y aparatos para el fortalecimiento de la musculatura abdominal. Por esta razón, diversos estudios han abordado un análisis de la efectividad de dichas máquinas. Escamilla et al. (2006) analizaron 7 máquinas (Ab Slide, Ab Twister, Ab Rocker, Ab Roller, Ab Doer, Torso Track, y SAM) y compararon la activación EMG del recto abdominal, oblicuos interno y externo, así como del recto femoral, respecto al encorvamiento e incorporación con piernas flexionadas. Sus resultados evidencian que el Ab Slide y el Torso Track fueron los más efectivos en cuanto a la activación de la musculatura abdominal, mientras que el Ad Doer, el Ab Twister, el Ab Rocker y el SAM, al igual que el ejercicio de incorporación, generaban una gran actividad EMG del recto femoral. Por estos motivos estos autores no recomiendan estas últimas máquinas, especialmente en personas con patologías lumbares.

Es muy frecuente observar a personas que realizan los encorvamientos a gran velocidad, lo que reduce su efectividad. También es muy frecuente ver como se ejecutan los encorvamientos con las caderas y rodillas flexionadas a 90 grados, lo que aumenta el estrés en el raquis lumbar. Otros realizan un ejercicio que está a medio camino entre el encorvamiento y la incorporación, lo que implica el movimiento del raquis lumbar y pelvis en flexión, aumentando considerablemente las cargas raquídeas.

El encorvamiento con giro o encorvamiento diagonal (Figura 5), se suele realizar para aumentar la activación de los músculos anchos del abdomen, si bien no produce un aumento significativo en estos (Juker y cols., 1998; Konrad y cols, 2001; Karst y cols. 1998). Este ejercicio implica un aumento de los niveles de compresión, respecto al encorvamiento, al combinar un movimiento en el plano sagital y transversal (Axler y McGIll, 1997; McGill, 2001), si bien no supera los 3000 Newtons de carga compresiva.

McGill (1998;2001) recomienda realizar los ejercicios de encorvamiento con las manos debajo del raquis lumbar para conservar la lordosis lumbar en la medida de lo posible, así como colocar una rodilla flexionada y la contralateral extendida (Figura 6) para fijar la pelvis y limitar su movimiento de retroversión, acción que rectifica e incluso invierte el raquis lumbar (Shields y Heiss, 1997).



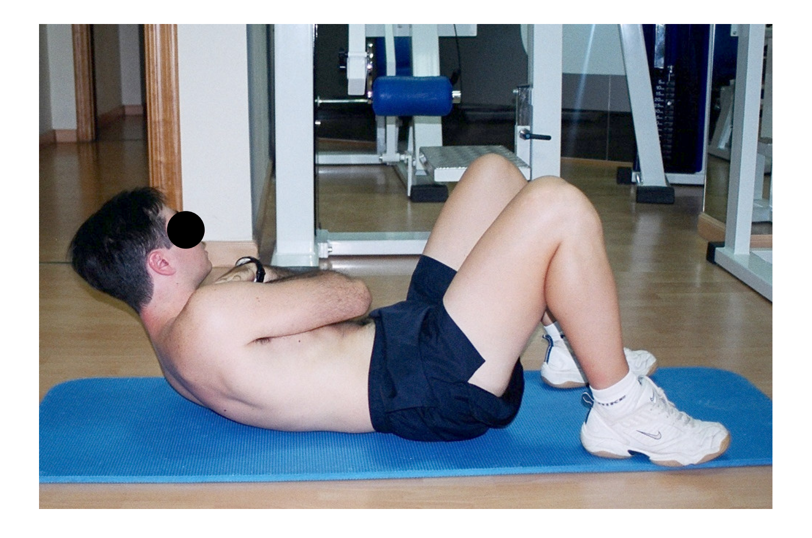


Figura 5. Encorvamiento con giro.

(Para ver la ejecución del ejercicio en formato vídeo acceder a
http://tv.um.es/serial/index/id/186)



Figura 6. Encorvamiento con manos bajo el raquis lumbar.

(Para ver la ejecución del ejercicio en formato vídeo acceder a
http://tv.um.es/serial/index/id/186)



Isometric side support

El *isometric side support* (figura 7) es un ejercicio efectivo para activar los músculos anchos del abdomen y cuadrado lumbar (un importante estabilizador del raquis lumbar) (McGill y cols., 1996), alrededor del 50% de la máxima contracción voluntaria (McGill y cols., 1996; McGill, 2001; (McGill, 1997 y 2001; Fritz y cols., 1998; Nadler y cols., 2002). Genera una actividad mioeléctrica baja en el Psoas y resto de flexores coxo-femorales (Juker y cols., 1998; McGill y cols., 1999), produciendo cargas compresivas moderadas (2500 Newton), así como un bajo estrés de cizalla en el raquis lumbar (McGill y cols., 1996; Axler y McGill, 1997; Juker y cols., 1998; McGill y cols., 1999; McGill, 2001; Kavcic y cols., 2004a; McGill, 2003). Este ejercicio genera menor compresión lumbar que el encorvamiento con giro y es más efectivo para el desarrollo de los músculos anchos del abdomen, por lo que es más recomendable para el trabajo de la musculatura abdominal (McGill, 2001). Sin embargo, prácticamente no es utilizado por los usuarios de salas de acondicionamiento muscular (López, 2003). Es importante no olvidar la posición del raquis cervical, que con frecuencia no se coloca alineado. El técnico deportivo debe asegurarse de que la persona que realiza el ejercicio mantiene una correcta linealidad del raquis en el plano frontal y sagital.



Figura 7. Isometric side support o side bridge

(Para ver la ejecución del ejercicio en formato vídeo acceder a http://tv.um.es/serial/index/id/186)



En algunas personas, este ejercicio puede provocar molestias en el hombro del brazo apoyado. En este caso se puede optar por realizar el bridge (figura 8), que es otro ejercicio efectivo y seguro (Kavcic y cols., 2004a), o bien optar por realizar el isometric side support sobre un banco con pies fijados, eliminando el apoyo del brazo.



Figura 8. Bridge.

(Para ver la ejecución del ejercicio en formato vídeo acceder a http://tv.um.es/serial/index/id/186)

Para las personas con baja resistencia muscular abdominal se puede realizar el isometric side support apoyando las rodillas (Figura 9), disminuyendo así el momento de resistencia (McGill, 2002), o bien modificar el ángulo entre el tronco y el suelo, apoyando el antebrazo en superficies más elevadas (Figura 10). Conforme mayor es el ángulo entre la línea media del cuerpo y la horizontal, menor es la intensidad para los músculos del tronco y para el hombro del brazo de apoyo.





Figura 9. Isometric side support con apoyo de rodillas.

(Para ver la ejecución del ejercicio en formato vídeo acceder a http://tv.um.es/serial/index/id/186)



Figura 10. Isometric side support con apoyo del brazo en un banco.

(Para ver la ejecución del ejercicio en formato vídeo acceder a http://tv.um.es/serial/index/id/186)

Otro ejercicio que puede realizarse para el acondicionamiento del cuadrado lumbar es la inclinación lateral con carga (Figura 11). En este ejercicio es importante una ejecución lenta sin alcanzar el máximo rango de movimiento (ROM) en el plano



frontal, ya que conforme aumenta el ROM, aumenta el estrés compresivo y de cizalla lateral (McGill, 1992).



Figura 11. Inclinación lateral máxima homolateral al lado donde se mantiene una mancuerna.

(Para ver la ejecución del ejercicio en formato vídeo acceder a http://tv.um.es/serial/index/id/186)

Elevación bilateral de piernas

La *elevación bilateral de piernas* (figura 12) produce una gran activación de los flexores coxofemorales y una activación moderada de la musculatura abdominal para fijar isométricamente la pelvis (McGill y cols., 1996; Andersson y cols 1995; 1997; Juker y cols., 1998; Axler y McGill, 1997; Silvermetz, 1990). En este ejercicio, la activación abdominal es menos intensa que la generada en ejercicios como el encorvamiento y el isometric side support. McGill (2001) destaca de este ejercicio y sus variantes, la capacidad para activar intensamente la musculatura abdominal, pero con el problema añadido de provocar una gran compresión en el raquis lumbar. Al realizar este ejercicio, conforme se fatiga la musculatura abdominal, aumenta la lordosis lumbar, al moverse la pelvis en anteversión (Shirado y cols., 1995). En personas con cortedad de la musculatura isquiosural, el único de modo de alcanzar



posiciones donde se cierra el ángulo tronco-muslos en torno a los 80-90º (figura 12), es mediante una retroversión de la pelvis que invierte el raquis lumbar. Si los ejecicios basados en la movilización activa de las caderas con rodillas extendidas son poco seguros, realizarlos en esta máquina y alcanzando los ángulos indicados, se reduce aún más su seguridad y aumenta el estrés vertebral.



Figura 12. Elevación bilateral de piernas en máquina, alcanzando un ángulo tronco-muslos en torno a los 90 grados.

(Para ver la ejecución del ejercicio en formato vídeo acceder a http://tv.um.es/serial/index/id/186)

En muchas ocasiones, la prescripción de este ejercicio se basa en una supuesta mayor activación de la porción inferior del recto abdominal. No obstante, en la mayoría de personas no existe la posibilidad de activar más la zona superior o inferior del recto abdominal utilizando ejercicios que movilizan el tren superior o el inferior (McGill, 2000; Lehman y McGill, 2001; McGill, 2004; Clark y cols., 2003).

Retroversión de pelvis

Los ejercicios que se basan en la retroversión de la pelvis activan la musculatura abdominal de forma moderada (Drysdale y cols 2004; Konrad y cols; Sarti y cols., 1996b), si bien invierten la zona lumbar y aumentan el estrés de forma

considerable. Al alcanzar el máximo rango de flexión coxofemoral bilateral con rodillas flexionadas si se desea intentar acecar más las rodillas hacia la parte superior del tórax y cabeza, es preciso hacer una retroversión de la pelvis (Figura 13), que invierte el raquis lumbar (Figura 14).



Figura 13. Flexión bilateral de caderas con rodillas flexionadas.

(Para ver la ejecución del ejercicio en formato vídeo acceder a http://tv.um.es/serial/index/id/186)





Figura 14. Retroversión de la pelvis.

(Para ver la ejecución del ejercicio en formato vídeo acceder a http://tv.um.es/serial/index/id/186)

Rotación del tronco.

La rotación del tronco es utilizada en ocasiones como medio para activar los músculos oblícuos, al ser estos rotadores del tronco. La rotación del tronco sin resistencia a velocidad normal implica un bajo nivel de activación muscular hasta los 15 grados. Más allá de este rango, las estructuras osteoligamentosas comienzan a tensarse y se requiere una mayor activación para realizar la rotación vertebral (Kumar y cols., 1996; Andersson y cols., 2002), si bien no alcanza valores de activación suficientes. Es muy frecuente colocarse una barra sobre los hombros y realizar rotaciones del tronco en bipedestación ó sedentación. Puesto que la carga movilizada incide de forma paralela al eje del raquis, no supone una resistencia suficiente. Si la carga movilizada incide de forma transversal al eje raquídeo, hay una mayor incidencia de la carga y el ejercicio es más intenso.



Cuando se realizan movimientos de rotación de un rango parcial de movimiento con una resistencia aplicada por dos ayudantes, el oblícuo interno y externo son los músculos que más se activan. El cuadrado lumbar y erector espinal se activan a intensidades ligeras (Andersson y cols., 2002) y el transverso abdominal se activa a intensidades moderadas (Urquhart y Hodges, 2005). El incremento de la velocidad angular en la rotación del tronco disminuye la tensión generada (Kumar y cols., 2003) y es un factor de riesgo para la salud de los tejidos viscoelásticos del raquis (Kumar y cols., 2003).

McGill (2004) no recomienda el entrenamiento en máquinas que requieren una rotación del tronco, a no ser que sea preciso en determinadas disciplinas deportivas, para lograr mayor rendimiento. La máquina para realizar rotaciones del tronco en sedentación que tienen algunos gimnasios es, para este autor, un ejemplo de un ejercicio que impone cargas extremas en el raquis en todo el rango de movimiento (McGill, 2004), por lo que no recomienda en absoluto el uso de esta máquina.

El abdominal hollowing, o maniobra de hundimiento abdominal, consiste en introducir el abdomen hacia dentro, manteniendo unos segundos la posición para relajar a continuación e iniciar la siguiente repetición. Este ejercicio genera una activación moderada en el transverso abdominal. Una ventaja de activar y desarrollar este músculos es que disminuye la laxitud de la articulación sacro-ilíaca (Richardson y cols., 2002). Este ejercicio genera un alto índice de estabilidad (McGill, 2002) y un estrés compresivo bajo (inferior a 2000 Newtons). Es importante mantener el raquis alineado mientras se ejecuta.

Referencias bibliográficas

Adams MA, Freeman BJC, Morrison HP, Nelson IW, Dolan P. Mechanical initiation of intervertebral disc degeneration. Spine 2000;25:1625-36.

Andersson E, Oddsson L, Grundström H, Thorstensson A. The role of the psoas and iliacus muscles for stability and movement of the lumbar spine, pelvis and hip. Scand J Med Sci Sports 1995;5:10-6.



Andersson E, Grundström H, Thorstensson A. Diverging intramuscular activity patterns in back and abdominal muscles during trunk rotation. Spine 2002;27:E152-60.

Andersson E, Oddsson L, Grundström H, Nilsson J, Thorstensson A. EMG activities of the quadratus lumborum and erector spinae muscles during flexion-relaxation and other motor tasks. Clin Biomech 1996;11:392-400.

Andersson EA, Ma Z, Thorstensson A. Relative EMG levels in training exercises for abdominal and hip flexor muscles. Scand J Rehabil Med 1998 ;30 :175-83.

Andersson EA, Nilsson J, Ma Z, Thorstensson A. Abdominal and hip flexor muscle activation during various training exercises. Eur J Appl Physiol 1995;75:115-23.

Axler CT, McGill SM. (1997). Low back loads over a variety of abdominal exercises: searching for the safest abdominal challenge. Med Sci Sports Exerc 1997;29:804-10.

Bogduk N, Pearcy M, Hadfield G. Anatomy and biomechanics of psoas major. Clin Biomech 1992;7:109–19.

Cholewicki J, Silfies SP, Shan RA, Greene HS, Reeves NP, Alvi K, et al. Delayed trunk muscle reflex responses increase the risk of low back injuries. Spine 2005;30:2614-20.

Cholewicki J, McGill SM. Lumbar posterior ligament involvement during extremely heavy lifts estimated from fluoroscopic measurements. J Biomech 1992;25:17-28.

Cholewicki J, Van Vliet JJ. Relative contribution of trunk muscles to the stability of the lumbar spine during isometric exertions. Clin Biomech 2002;17:99-105.

Cholewicki J, Juluru K, McGill SM. Intra-abdominal pressure mechanism for stabilizing the lumbar spine. J Biomech 1999a;32:13-7.

Cholewicki J, Juluru K, Radebold A, Panjabi MM, McGill SM. Lumbar spine stability can be augmented with an abdominal belt and/or increased intra-abdominal pressure. Eur Spine J 1999;8:388-95.



Cholewicki J, McGill SM, Norman RW. Comparison of muscle forces and joint load from an optimization and EMG assisted lumbar spine model: towards development of a hybrid approach. J Biomech 1995;28:321-31.

Cholewicki J, McGill SM, Norman RW. Lumbar spine loads during the lifting of extremely heavy weights. Med Sci Sports Exerc 1991;23:1179-86.

Christie HJ, Kumar S, Warren SA. Postural aberrations in low back pain. Arch Phys Med Rehab 1995;76:218-24.

Clark BC, Manini TM, Mayer JM, Ploutz-Snyder LL, Graves JE. Electromyographic activity of the lumbar and hip extensors during dynamic trunk extension exercise. Arch Phys Med Rehabil 2002;83:1547-52.

Clark BC, Manini TM, Ploutz-Snyder LL. Derecruitment of the lumbar musculature with fatiguing trunk extension exercise. Spine 2003;28:282-7.

Clark KM, Holt LE, Sinyard J. Electromyographic comparison of theupper and lower rectus abdominis during abdominal exercises. J Strength Cond Res 2003;17:475-83.

Claude LN, Solomonow M, Zhou BH, Baratta RV, Zhu MP. Neuromuscular dysfunction elicited by cyclic lumbar flexion. Muscle Nerve 2003;27:348-58.

Cordo PJ, Gurfinkel VS, Smith TC, Hodges PW, Verschueren SMP, Brumagne S. The sit-up: complex kinematics and muscle activity in voluntary axial movement. J Electromyogr Kinesiol 2003;13:239-52.

Cosio-Lima LM, Reynolds KL, Winter C, Paolone V, Jones MT. Effects of physioball and conventional floor exercises on early phase adaptations in back and abdominal core stability and balance in women. J Strength Cond Res 2003;17:721-5.

Cresswell AG, Grundström H, Thorstensson A. Observations on intra-abdominal pressure and patterns of abdominal intra-muscular activity in man. Acta Physiol Scand 1992;144:409-18.

Cresswell AG, Thorstensson A. Changes in intra-abdominal pressure, trunk muscle activation and force during isokinetic lifting and lowering. Eur J Appl Physiol 1994;68:315-21.



De Looze MP, Groen H, Horemans H, Kingma I, Van Dieën JH. Abdominal muscles contribute in a minor way to peak spinal compression in lifting. J Biomech 1999;32:655-62.

Demont RG, Lephart SM, Giraldo JL, Giannantonio FP, Yuktanandana P, Fu FH. Comparison of two abdominal training devices with an abdominal crunch using strength and EMG measurements. J Sports Med Phys Fitness 1999;39:253-8.

Drysdale CL, Earl JE, Hertel, J. Surface electromyographic activity of the abdominal muscles during pelvic-tilt and abdominal-hollowing exercises. J Athl Train 2004;39:32-6.

Escamilla RF, McTaggart MS, Fricklas EJ, DeWitt R, Kelleher P, Taylor MK, Hreljac A, Moorman CT. An electromyographic analysis of commercial and common abdominal exercises: implications for rehabilitation and training. J Orthop Sports Phys Ther 2006;36:45-57.

Essendrop M, Schibye B. Intra-abdominal pressure and activation of abdominal muscles in highly trained participants during sudden heavy trunk loadings. Spine 2004;29:2445-51.

Essendrop M, Hye-Knudsen CT, Skotte J, Hansen AF, Schibye B. Fast development of high intra-abdominal pressure when a trained participant in exposed to heavy, sudden trunk loads. Spine 2004;29:94-9.

Fritz JM, Erhard R, Hagen B. Segmental instability of the lumbar spine. Phys Ther 1998;78 :889-96.

Gardner MG, Stokes AF. The effects of abdominal muscle coactivation on lumbar spine stability. Spine 1998;23:86-91.

Goldish GD, Quast JE, Blow JJ, Kuskowski MA. Postural effects on intra-abdominal pressure during Valsalva maneuver. Arch Phys Med Rehabil 1994;75:324-7.

Guimaraes AC, Vaz MA, De Campos MI, Marantes R. The contribution of the abdominis and rectus femoris in twelve selected abdominal exercises. An electromyographic study. J Sports Med Phys Fitness 1991;31:222-30.

Gusi N, Fuentes JP. Análisis de la influencia del ritmo de ejecución en el trabajo de fuerza-resistencia abdominal: encorvadas. APUNTS 1996;58:58-61.



Haynes W. Core stability and the unstable platform device. J Body Mov Ther 2004;8:88-103.

Hildenbrand K, Noble L. Abdominal muscle activity while performing trunk-flexion exercises using the Ab Roller, Abslide, FitBall, and conventionally performed trunk curls. J Athl Train 2004;39:37-43.

Hodges PW. Changes in motor planning of feedforward postural responses of the trunk muscles in low back pain. Exp Brain Res 2001a;141:261-6.

Hodges PW, Richardson CA. Inefficient muscular stabilization of the lumbar spine associated with low back pain. Spine 1996;21:2640-50.

Hodges PW, Richardson CA. Contraction of the abdominal muscles associated with movement of the lower limb. Phys Ther 1997a;77:132-44.

Hodges PW, Richardson CA. Relationship between limb movement speed and associated contraction of the trunk muscles. Ergonomics 1997b;40:1220-30.

Hodges PW, Richardson CA. Feedforward contraction of transversus abdominis is not influenced by the direction of arm movement. Experimental Brain Research 1997c;114:362-70.

Hodges PW, Richardson CA. Transversus abdominis and the superficial abdominal muscles are controlled independently in a postural task. Neuroscience Letters 1999a;265:91-4.

Hodges PW, Richardson CA. Altered trunk muscle recruitment in people with low back pain with upper limb movement at different speeds. Arch Phys Med Rehab 1999b;80:1005-12.

Hodges PW, Cresswwell AG, Daggfeldt K, Thorstensson A. In vivo measurement of the effect of intra-abdominal pressure on the human spine. J Biomech 2001;34:347-53.

Hodges P, Holm AK, Holm S, Elström L, Cresswell A, Hansson T, et al. Intervertebral stiffness of the spine is increased by evoked contraction of transversus abdominis and the diaphragm: in vivo porcine studies. Spine 2003;28:2594-2601.

Hodges P, Cresswell A, Thorstensson A. Preparatory trunk motion accompanies rapid upper limb movement. Exp Brain Res 1999;124:69-79.



Ito T, Shirado O, Suzuki H, Takahashi M, Kaneda K, Strax TE. Lumbar trunk muscle endurance testing: an inexpensive alternative to a machine for evaluation. Arch Phys Med Rehab 1996;77:75-9.

Juker D, McGill S, Kropf P, Steffen T. Quantitative intramuscular myoelectric activity of lumbar portions of psoas and the abdominal wall during a wide variety of tasks. Med Sci Sports Exerc 1998;30:301-10.

Kavcic N, Grenier S, McGill SM. Quantifying tissue loads and spine stability while performing commonly prescribed low back stabilization exercises. Spine 2004a;29:2319-29.

Kavcic N, Grenier S, McGill SM. Determining the stabilizing role of individual torso muscles during rehabilitation exercises. Spine 2004b;29:1254-65.

Konrad P, Schmitz K, Denner A. Neuromuscular evaluation of trunk-training exercises. J Athl Train 2001;36:109-18.

Kumar S, Narayan Y, Zedka M. An electromyographic study of unresisted trunk rotation with normal velocity among healthy subjects. Spine 1996;21:1500-12.

Kumar S, Narayan Y, Garand D. An electromyographic study of isokinetic axial rotation in young adults. Spine J 2003;3:46-54.

Lavender SA, Shakeel K, Andersson G, Thomas JS. Effects of a lifting belt on spine moments and muscle recruitments after unexpected sudden loading. Spine 2000;25:1569-78.

Lehman GJ, McGill SM. Quantification of the differences in electromyographic activity magnitude between the upper and lower portions of the rectus abdominis muscle during selected trunk exercise. Phys Ther 2001;81:1096-1101.

Liebenson C. Spinal stabilization training. The therapeutic alternative to weight training. J Body Mov Ther 1997;1:87-90.

Liebenson C. Are prolonged sitting postures bad for the back?. J Body Mov Ther 2002;6:151-3.

Liebenson C. How to take care of your back. J Body Mov Ther 2004;8:85-7.

López-Miñarro PA. Ejercicios desaconsejados en la Actividad Física. Detección y alternativas. Barcelona: INDE; 2000.



López-Miñarro PA, Rodríguez PL. Ejercicios físicos desaconsejados para la columna vertebral y alternativas para su corrección. Selección 2001;10:9-19.

López-Miñarro PA. Análisis de ejercicios de acondicionamiento muscular en salas de musculación. Incidencia sobre el raquis en el plano sagital. [Tesis doctoral]. Murcia: Universidad de Murcia; 2003..

Macfarlane PA. Out with the sit-up, in with the curl-up!. JOPERD 1993;Agosto:62-6.

McGill SM, Seguin J, Bennett G. Passive stiffness of the lumbar torso in flexion, extension, lateral bending, and axial rotation. Spine 1994;19:696-704.

McGill SM, Hughson RL, Parks K. Changes in lumbar lordosis modify the role of the extensor muscles. Clin Biomech 2000;15:777-80.

McGill SM. A myoelectrically based dynamic three-dimensional model to predict loads on lumbar spine tissues during lateral bending. J Biomech 1992;25:395-414.

McGill SM. The biomechanics of low back injury: implications on current practice in industry and the clinic. J Biomech 1997a;30:465-75.

McGill SM. Distribution of tissue loads in the low back during a variety of daily and rehabilitation tasks. J Rehabil Res Dev 1997b;34:448-58.

McGill SM. Stability: from biomechanical concept to chiropractic practice. JCCA 1999;43:75-88.

McGill SM. Low back stability: from formal description to issues for performance and rehabilitation. Exerc Sport Sci Rev 2001;29:26-31.

McGill SM. Low back exercises: evidence for improving exercise regimens. Phys Ther 1998;78:754-65.

McGill SM. Low back disorders. Evidence-Based prevention and rehabilitation. Champaign: Human Kinetics; 2002.

McGill SM. Ultimate back fitness and performance. Waterloo: Wabuno Pubishers; 2004.

McGill SM. The mechanics of torso flexion: situps and standing dynamic flexion manoeuvres. Clin Biomech 1995;10:184-92, 1995.



McGill SM, Axler CT. Changes in spine height throughout 32 hours of bedrest. Arch Phys Med Rehab 1996;77:1071-3.

McGill SM, Kippers V. Transfer of loads between lumbar tissues during the flexion-relaxation phenomenon. Spine 1994;19:2190-6.

McGill SM, Norman RW. Low back biomechanics in industry - Prevention of injury. En: Grabiner MD, editor. Current issues in Biomechanics. Champaign: Human Kinetics; 1992. p. 69-120.

McGill SM, Childs A, Liebenson C. Endurance times for low back stabilization exercises: clinical targets for testing and training from a normal database. Arch Phys Med Rehab 1999;80:941-4.

McGill SM, Norman RW, Sharratt MT. The effect of an abdominal belt on trunk muscle activity and intra-abdominal pressure during squat lifts. Ergonomics 1990;33:147-60.

McGill SM. Kinetic potential of the lumbar trunk musculature about three orthogonal orthopaedic axes in extreme postures. Spine 1991;16:809-15.

McGill SM. Linking latest knowledge of injury mechanism and spine function to the prevention of low back disorders. J Electromyogr Kinesiol 2004;14:43-7.

McGill SM, Grenier S, Kavcic N, Cholewicki J. Coordination of muscle activity to assure stability of the lumbar spine. J Electromyogr Kinesiol 2003;13:353-9.

McGill SM. The influence of lordosis on axial trunk torque and trunk muscle myoelectric activity. Spine 17:1187-93.

McGill SM, Juker D, Kropf P. Quantitative intramuscular myoelectric activity of quadratus lumborum during a wide variety of tasks. Clin Biomech 1996;11:170-2.

Monfort M. La estabilización del tronco como fin para la práctica de la actividad física saludable. En: *Educación Física y salud. Actas del II Congreso Internacional de Educación Física; 2000.* p. 625-33. Jérez: FETE-UGT Cádiz.

Monfort M, Sarti MA. Musculatura del tronco: función y desarrollo. En Ruiz F, Rodríguez PL, Coords. Educación Física, deporte y salud. Murcia: Área de Didáctica de la Expresión Corporal; 1998. p. 269-86.



Monfort M, Sarti MA, Sanchis C. Actividad eléctrica del músculo recto mayor del abdomen en ejercicios abdominales. APUNTS Med Dep 1997;32:279-90.

Nadler SF, Malanga GA, Bartoli LA, Feinberg JH, Prybicien M, Deprince M. Hip muscle imbalance and low back pain in athletes: influence of core strengthening. Med Sci Sports Exerc 2002;34:9-16.

O´Sullivan PB, Twomey L, Allison GT. Altered abdominal muscle recruitment in patients with chronic back pain following a specific exercise intervention. J Orthop Sports Phys Ther 1998;27:114-24.

Richardson CA, Snijders CJ, Hides JA, Damen L, Pas MS, Storm J. The relation between the transversus abdominis muscles, sacroiliac joint mechanics, and low back pain. Spine 2002;27:399-405.

Rodacki CL, Rodacki AL, Ugrinowitsch C, Zielinski D, da Costa R. Spinal unloading alter abdominal exercises. Clin Biom 2008;23:8-14.

Santaguida L, McGill SM. The psoas major muscle: a three-dimensional mechanical modeling study with respect to the spine based on MRI measurement. J Biomech 1995;28:339-45.

Sarti MA, Lisón JF, Monfort M, Fuster MA. Response of the lumbar-relaxation phenomenon relative to the lumbar motion to load and speed. Spine 2001;26:E421-26.

Sarti MA, Monfort M, Fuster MA, Villaplana LA. Muscle activity in upper and lower rectus abdominus during abdominal exercises. Arch Phys Med Rehab 1996b;77:1293-7.

Sarti MA, Monfort M, Fuster MA. (1996a). Intensidad de la contracción del músculo recto mayor del abdomen. Estudio electromiográfico. Arch Med Dep 1996a;56:441-6.

Sarti MA, Monfort M, Sanchís C, Aparicio L. (1996b). Anatomía funcional del músculo rectus abdominis. Estudio electromiográfico. Arch Esp Morf 1996b;1:143-9.

Scott SC, Goldberg MS, Mayo NE, Stock SR, Poîtras B. The association between cigarette smoking and back pain in adults. Spine 1999;24:1090-98.



Sharpe G, Liemohn W, Snodgrass L. Exercise prescription and the low back-kinesiological factors. JOPERD 1988;Nov-Dic:74-7.

Shields RK, Givens D. An electromyographic comparison of abdominal muscle synergies during curl and double straight leg lowering exercises with control of the pelvic position. Spine 1997;22:1873-9.

Shin G, Shu Y, Li Z, Jiang Z, Mirka G. Influence of knee angle and individual flexibility on the flexion-relaxation response of the low back musculature. J Electromyogr Kinesiol 2004;14:485-94

Shirado O, Ito T, Kaneda K, Strax T. Flexion-relaxation phenomenon in the back muscles. Am J Phys Med Rehab 1995;74:139-44.

Shirazi-Adl A, Ahmed AM, Shrivastava SC. A finite element study of a lumbar motion segment subjected to pure sagittal plane moments. J Biomech 1986;19:331-50.

Silvermetz MA. Pathokinesiology of supine double leg lifts as an abdominal strengthener and suggested alternative exercises. Athl Train 1990;25:17-22.

Simunic I, Broom D, Robertson P. Biomechanical factors influencing nuclear disruption of the intervertebral disc. Spine 2001;26:1223-30.

Solomonow M, Zhou B, Harris M, Lu Y, Baratta RV. The ligamento-muscular stabilizing system of the spine. Spine 1998;23:2552-62.

Sternlicht E, Rugg SG, Bernstein MD, Armstrong SD. Electromyographical analysis and comparison of selected abdominal training devices with a traditional crunch. J Strength Cond Res 2005;19:157-62.

Sternlicht E, Rugg SG. Electromyographic analysis of abdominal muscle activity using portable abdominal exercise devices and a traditional crunch. J Strength Cond Res 2003;17:463-8.

Tesh KM, Dunn JS, Evans JH. (1987). The abdominal muscles and vertebral stability. Spine 1987;12:501-508.

Thomas K, Lee RYW. Fatigue of abdominal and paraspinal muscles during sustained loading of the trunk in the coronal plane. Arch Phys Med Rehab 2000;81:916-20.



Urquhart DM, Hodges PW. Differential activity of regions of transversus abdominis during trunk rotation. Eur Spine J 2005 ;14 :393-400.

Vera FJ, Sarti MA. Manipulación social en la actividad físico-deportiva. La revistilla 1999;2:25-9.

Vera FJ, Grenier SG, McGill SM. Abdominal muscle response during curl-ups on both stable and labile surfaces. Phys Ther 2000;80:564-9.

Warden SJ, Wajswelner H, Bennell KL. Comparison of Abshaper and conventionally performed abdominal exercises using surface electromyography. Med Sci Sports Exerc 1999;31:1656-64.

Whiting WC, Rugg S, Coleman A, Vincent WJ. Muscle activity during sit-ups using abdominal exercise devices. J Strength Cond Res 1999;13:339-45.